4. PROIECTAREA SISTEMULUI DE TRANSMITERE ŞURUB-PIULIŢĂ CU BILE (STSPB)

Transmisia cu şurub de mişcare face parte din categoria transmisiilor mecanice care transformă mişcarea de rotaţie în mişcare de translaţie sau invers.

4.1. Principiul constructiv-funcţional şi elementele STSPB

Din punct de vedere ***constructiv*** (după natura frecării dintre elemente) se utilizează două categorii de ***sisteme de transmitere şurub-piuliţă***:

– cu frecare de alunecare între spire,

– ***cu corpuri de rostogolire*** (bile, role).

Funcţional, transmisiile cu şurub de mişcare pot avea ca element conducător *şurubul* sau piuliţa, *cu mişcare de rotaţie* sau translaţie, iar ca element condus *piuliţa*, respectiv şurubul, *cu mişcare de translaţie*, respectiv rotaţie, obţinând variantele reprezentate schematic în figura 4.1.

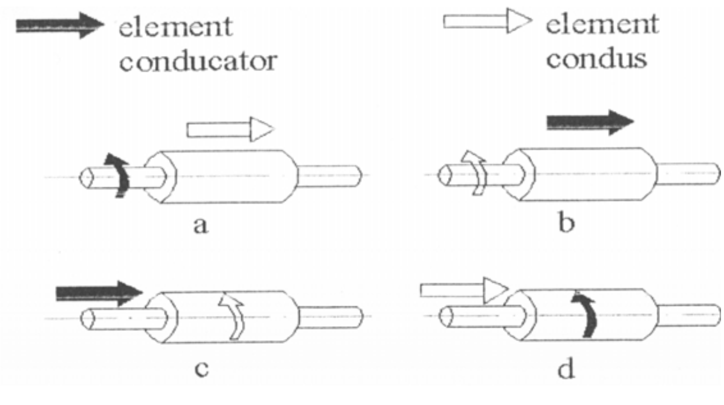


Fig. 4.1 *Variante funcţionale pentru transmisiile şurub–piuliţă*

Sistemul de transmitere şurub–piuliţă cu bile este un ansamblu de transfer al forţei şi mişcării ce aparţine familiei transmisiilor de putere cu şurub de mişcare.

Caracteristica principală constructivă a şuruburilor cu bile constă în obţinerea unei mişcări de rostogolire liberă a bilelor în canalele elicoidale, executate atât pe suprafaţa şurubului cât şi la interiorul piuliţei, care înlocuiesc profilul filetului. Forma constructivă a şurubului cu bile trebuie să aibă în vedere funcţionarea în circuit închis, adică readucerea bilelor în zona de lucru printr-un canal de recirculare.

Elementele constructive ale unui sistem de transmitere şurub-piuliţă cu bile sunt reprezentate în figura 4.2, în care:

1 – şurub,
2 – bile,
3 – piuliţa,
4 – canal de recirculare,
5 – sistem de etanşare.

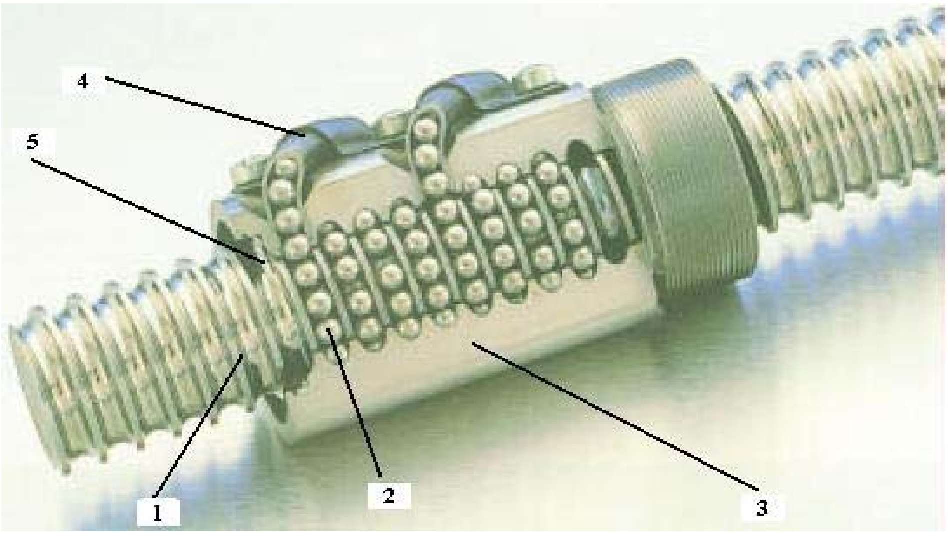


Fig. 4.2 *Elementele componente ale transmisiei șurub–piuliță cu bile*

Şuruburile cu bile au o largă aplicare în construcţia de maşini–unelte, autocamioane şi tractoare, mecanică fină, industria de avioane, reactoare nucleare, etc.

4.2. Date de proiectare pentru sistemul de transmitere şurub-piuliţă cu bile

Pentru realizarea dimensionării şi verificării sistemului de transmitere a mişcării de rotaţie şi transformare în mişcare de translaţie sunt necesare următoarele ***date iniţiale de proiectare***:

– lungimea cursei piuliţei	$l_c =$	[mm];
– pasul filetului	$p =$	[mm];
– sarcina axială de transmis	$F =$	[N];
– turaţia şurubului	$n_{SB} =$	[rot/min];
– modul de rezemare a şurubului	rezemare la capete (impus prin temă);	
– durabilitatea cuplei şurub-piuliţă	$D_h =$	[ore];
– raportul între lungime şi diametru	$K = \frac{l}{d}$	(impus).

Suplimentar acestor mărimi iniţiale se utilizează următoarele ***elemente adoptate*** pentru realizarea transmisiei şurub–piuliţă cu bile:

– *tipul constructiv*: rezultă din schema constructivă a transmisiei mecanice: *şurub conducător de rotaţie, piuliţă de translaţie*;

– *materialele* pentru şurubul şi piuliţa cu bile se aleg în funcţie de diverşi parametri care caracterizează funcţionarea transmisiei, cum sunt:

a) capacitatea portantă:

$$T_{SB} = \frac{P_{SB}}{\omega_{SB}} \times 10^6 \qquad [\text{N mm}] \qquad (4.1)$$

unde: P_{SB} – puterea transmisă de şurub calculată cu relaţia:

$$P_{SB} = P \cdot \eta_{STCD} \cdot \eta_{SRR} \qquad [\text{kW}] \qquad (4.2)$$

ω_{SB} – viteza unghiulară a şurubului cu bile, stabilită în funcţie de turaţia acestuia prin:

$$\omega_{SB} = \frac{\pi \cdot n_{SB}}{30} \qquad [\text{rad/s}] \qquad (4.3)$$

în care: n_{SB} a fost calculat în tabelul 1.1 de la alegerea acţionării sistemului mecanic.

b) durabilitatea cuplei elicoidale:

$$L_h = \frac{60 \cdot n_{SB} \cdot D_h}{10^6} \qquad [\text{milioane rotaţii}] \qquad (4.4)$$

c) precizia de funcţionare: se alege o funcţionare cu *precizie medie*.

Pentru elementul constructiv principal, ***şurubul*** sistemelor de transmitere obişnuite, fără condiţii de precizie deosebite, când duritatea suprafeţelor în contact poate fi sub 60 HRC, se utilizează ca materiale *oţelurile laminate calitate*: ***OLC 55***, ***OLC 60***, cu compoziţie chimică constantă, cu tratament termic de călire prin curenţi de înaltă frecvenţă (CIF).

Piuliţa şi ***bilele*** se execută din *oţeluri de rulmenţi* ***RUL 1*** sau ***RUL2***, cu duritate de 61-63 HRC. La transmisiile şurub-piuliţă cu bile la care se impun cerinţe speciale de reducere a zgomotului aceste elemente constructive se pot confecţiona din materiale plastice: poliformaldehidice (delrin), politetrafluoretilena (teflon), etc.

4.3. Parametrii geometrici ai cuplei şurub-piuliţă cu bile

Forma profilului curbiliniu pentru căile de rulare ale suprafeţei exterioare a şurubului şi suprafeţei interioare a piuliţei este reprezentată în figura A 3.1 din ***ANEXA 3***.

Dimensiunile care definesc profilul sunt tipizate prin norme stabilite de firmele constructoare. În tabelul A3.1 din ***Anexa 3*** sunt indicate dimensiunile profilului curbiliniu, în care:

d_0 – diametrul de dispunere a corpurilor de rulare,

p – pasul filetului,

r – raza bilei,

R – raza căilor de rulare,

r_3, r_4 – raze de racordare,

d_S – diametrul punctului de contact cu şurubul,
d_2 – diametrul exterior al şrubului,
d_P – diametrul punctului de contact cu piuliţa,
D_1 – diametrul interior al piuliţei.

Unghiul de contact θ este definit între direcţia normalei comune în punctele de contact corp de rostogolire-căi de rulare şi perpendiculara pe axa de simetrie a cuplei elicoidale ce trece prin centrul bilei.

Calculul parametrilor geometrici porneşte de la stabilirea diametrului minim al şurubului cu bile d_1 din *condiţia de rezistenţă*:

- la ***flambaj*** – pentru şuruburile lungi;
- la compresiune – la şuruburile scurte.

Observaţie:

Pentru asigurarea unei tehnologii corespunzătoare de execuţie (şuruburile de mişcare cu profilul filetului rectificat) este necesară respectarea raportului:

$15 \le \dfrac{l}{d} \le 25$ – în *construcţia generală de maşini*;

$\dfrac{l}{d} \le 15$ – în mecanica fină.

Se notează raportul între lungime şi diametru:

$$\frac{l}{d} = K \tag{4.5}$$

şi se alege în funcţie de domeniile de utilizare specificate anterior.

Se consideră *forţa critică de flambaj* pentru domeniul elastic determinată cu relaţia lui Euler:

$$F_{cf} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{l_f^2} \tag{4.6}$$

în care: E – modulul de elasticitate longitudinal al materialului şurubului (pentru oţel $E = 2{,}1 \cdot 10^5$ MPa);

$I_{\min}$ – *momentul de inerţie minim al secţiunii transversale a şurubului* cu diametrul d calculat cu relaţia:

$$I_{\min} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \tag{4.7}$$

l_f – *lungimea de flambaj*, care depinde de modul de rezemare a şurubului schematizat în figura 4.3. Cazul rezultat din schema cinematică a temei de proiectare (rezemare la capete) este caracterizat de $l_f = l$.

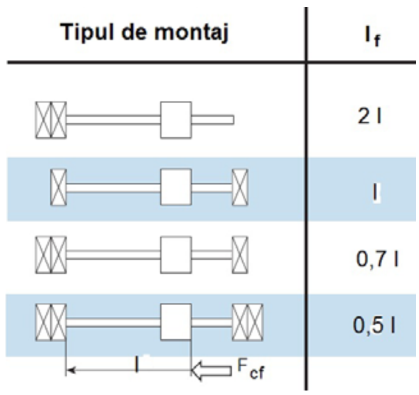


Fig. 4.3 *Cazuri de rezemare a şurubului cu bile*

Dacă se defineşte *coficientul de siguranţă la flambaj*:

$$c_f = \frac{F_{cf}}{F} \geq c_{af} \tag{4.8}$$

şi se impune coeficientul admisibil de flambaj pentru transmisiile şurub–piuliţă dispuse orizontal c_{af} = ***3,5 … 4***, prin înlocuirea relaţiilor (4.6) şi (4.7) funcţie de l_f şi *d*, rezultă expresia de calcul pentru *diametrul minim al şurubului de mişcare* folosind raportul dat de relaţia (4.5):

$$d \geq \sqrt{\frac{64 \cdot c_{af} \cdot K^2 \cdot F}{\pi^3 \cdot E}} \tag{4.9}$$

Valoarea calculată se rotunjeşte la o valoare superioară standardizată pentru diametrul interior al filetului d_S (tabelul A3.1 din

ANEXA 3), după care se verifică corectitudinea alegerii diametrului asamblării d_0 stabilit la acţionarea sistemului mecanic.

Geometria căilor de rulare se alege din ***ANEXA 3*** (tabelul A3.1) în funcţie de d_0 (diametrul de dispunere a bilelor).

Stabilirea numărului de bile – se face din *condiţia de rezistenţă la solicitarea de contact* a corpurilor de rostogolire cu suprafeţele de rulare ale şurubului şi piuliţei (figura 4.4) impunând inegalitatea:

$$\sigma_H = \sigma^* \left[F_n \cdot \left(E' \cdot \sum \rho \right)^2 \right]^{\frac{1}{3}} \leq \sigma_{aH} \tag{4.10}$$

unde: σ_H – tensiunea hertziană pe elipsa de contact;

F_n – sarcina normală în punctul de contact;

E' – modulul de elasticitate redus dat de relaţia:

$$\frac{2}{E'} = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \tag{4.11}$$

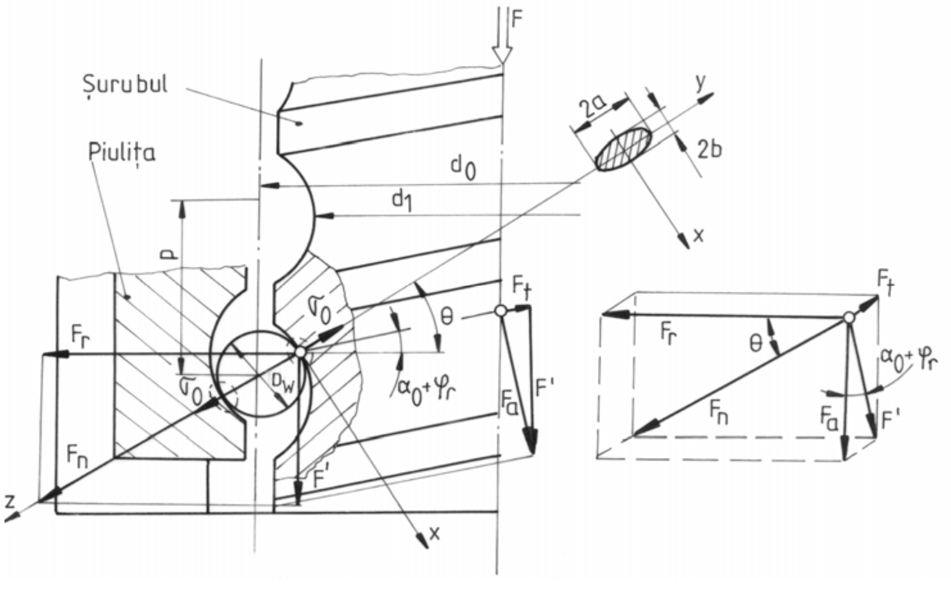


Fig. 4.4 *Solicitarea de contact bilă–căi de rulare*

în care modulele de elasticitate ale materialelor pentru bile şi şurub (piuliţă) sunt: $E_1 = E_2 =$ ***2,1*** x ***10***^{5} MPa, iar coeficienţii Poison sunt: $\nu_1 = \nu_2 =$ ***0,3***;

$\sum \rho$ – suma curburilor în punctul de contact se determină în funcţie de geometria suprafeţelor conjugate:

$$\sum \rho = \frac{1}{r} - \frac{1}{R} = \frac{R - r}{r \cdot R} \qquad [\text{mm}^{-1}] \qquad (4.12)$$

Înlocuind, din relaţia (4.10) rezultă:

$$F_n \leq \left(\frac{\sigma_{aH}}{\sigma^*} \right)^3 \cdot \frac{1}{\left(E' \cdot \sum \rho \right)^2} \qquad [\text{N}] \qquad (4.13)$$

Pentru calculul tensiunii de contact σ_H s-a utilizat notaţia:

$$\sigma^* = \left[1{,}32 - 3{,}49 \cdot \frac{(R - r)(r_0 - r \cdot \cos\theta)}{R \cdot r_0} \right]^2 \qquad (4.14)$$

în care: $r_0 = \frac{d_0}{2}$ şi $\theta =$ ***45***$^{\boldsymbol{0}}$.

Tensiunea admisibilă de contact între corpurile de rostogolire şi canalele elicoidale se recomandă ca valoare: σ_{aH} = ***2500 ... 3000*** MPa.

Componenta axială a forţei rezultă din figura 4.4:

$$F_a = F_n \cdot \sin\theta \cdot \cos(\alpha_0 + \varphi_r) \qquad (4.15)$$

unde: α_0 – *unghiul de înfăşurare a spirei filetului* se calculează cu relaţia:

$$\alpha_0 = arctg\left(\frac{p}{\pi \cdot d_0} \right) \qquad (4.16)$$

φ_r – *unghiul de frecare de rostogolire între spirele filetului* este dat de relaţia:

$$\varphi_r = arctg\left(\frac{f}{r \cdot \sin\theta}\right) \tag{4.17}$$

cu: f – coeficientul de frecare între corpurile de rostogolire şi căile de rulare; are valori între ***0,008 … 0,01***.

Numărul de bile de calcul rezultă din raportul forţelor:

$$z_c = \frac{F}{F_a} \tag{4.18}$$

din care se determină *numărul de bile necesar transmiterii forţei axiale* între şurub şi piuliţă:

$$z = \frac{z_c}{\psi} \tag{4.19}$$

în care: ψ – coeficientul numărului de bile se adoptă (valorile recomandate ***0,7 … 0,9***).

Valoarea calculată z se rotunjeşte la o valoare superioară întreagă.

Numărul de spire active ale piuliţei rezultă prin calcul:

$$z_P = z \cdot \frac{d_b}{\pi \cdot d_0} \cdot \cos\alpha_0 = z \cdot \frac{2 \cdot r}{\pi \cdot d_0} \cos\alpha_0 \tag{4.20}$$

şi se rotunjeşte la un număr z_a în funcţie de care se stabileşte *numărul minim de spire* z_m standardizat, din tabelul 4.1.

Tabelul 4.1 *Determinarea numărului minim de spire*

Numărul de spire active, z_a	2,5	3,5	5,0	10,5
Numărul de spire minime, z_m	4,5	5,5	7,5	13,5

Înălţimea piuliţei se calculează în funcţie de numărul de spire minime z_m şi de pasul profilului cu relaţia:

$$H_P = [z_m + (1 \ldots 1{,}5)] \cdot p \tag{4.21}$$

4.4. Caracteristici funcţionale ale cuplei elicoidale cu rostogolire

Pentru sistemul de transmitere şurub–piuliţă cu bile se stabilesc următoarele *caracteristici funcţionale*:

1) Randamentul pentru şurub cu mişcare de rotaţie şi piuliţă de translaţie este definit similar ca la transmisiile cu alunecare între spire:

$$\eta_{SB} = \frac{1 - f \cdot tg\alpha_0}{1 + \dfrac{f}{tg\alpha_0}} \times 100 \qquad [\%] \qquad (4.22)$$

2) Momentul de acţionare aplicat şurubului cu bile având mişcare de rotaţie convertit în deplasarea liniară a piuliţei este determinat funcţie de încărcarea axială a şurubului şi viteza de avans a piuliţei:

$$T_{SB_L} = \frac{F \cdot v_a}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{SB}} \qquad [\text{N mm}] \qquad (4.23)$$

unde: v_a – viteza de avans a piuliţei se poate calcula cu relaţia:

$$v_a = \frac{v_x}{n_{SB}} = p \qquad [\text{mm/rot}] \qquad (4.24)$$

3) Raportul de transfer între şurub şi piuliţă:

$$i_{STSPB} = \frac{v_{SB}}{v_P} = \frac{\pi \cdot d_0}{p} \qquad (4.25)$$

4) Forţa de prestrângere (pretensionare) a piuliţei F_{pr} se stabilește funcție de forța axială de lucru:

$$F_{pr} = (0{,}25...0{,}33) \times F \qquad [\text{N}] \qquad (4.26)$$

și determină un moment de frecare între șurub și piuliță:

$$T_{f_STSPB} = c_{pr} \cdot F_{pr} \cdot p \qquad [\text{N mm}] \qquad (4.27)$$

în care: c_{pr} – coeficient de pretensionare a piuliţei care ia valori între ***0,16 ... 0,32***.

5) Durabilitatea cuplei elicoidale stabilită prin calcul în funcţie de turaţia de funcţionare a elementului conducător (şurubul) şi durata de lucru a transmisiei:

$$L_r = \frac{60 \cdot n_{SB} \cdot D_h}{10^6} \qquad \text{[milioane rotaţii]} \qquad (4.28)$$

6) Capacitatea dinamică de bază determinată similar ca la rulmenţii cu contact punctual bilă–căi de rulare:

$$C = P_e \cdot L_r^{1/3} \qquad \text{[N]} \qquad (4.29)$$

cu: P_e – sarcina dinamică echivalentă dată de:

$$P_e = \frac{f_d}{f_H} \cdot F \qquad \text{[N]} \qquad (4.30)$$

în care: coeficienţii dinamic f_d şi de duritate f_H se aleg din tabelul 4.2, respectiv nomogramele din figura 4.5.

Tabelul 4.2 *Coeficientul dinamic f_d*

Regimul de funcţionare	f_d
Turaţie mică, sarcină fără şocuri	1 ... 1,2
Condiţii normale	1,2 ... 1,5
Turaţii obişnuite, sarcină cu şocuri	1,5 ... 2,5

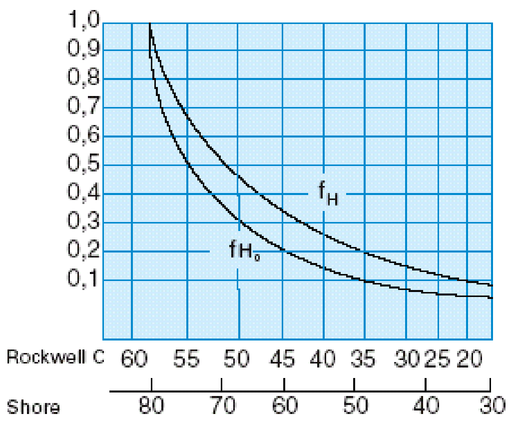


Fig. 4.5 *Variaţia coeficientului f_H cu duritatea suprafeţelor*

4.5. Sistemul de recirculare a bilelor

Închiderea circuitului bilelor (readucerea acestora în zona activă de contact cu căile de rulare prevăzute pe suprafeţele şurubului şi piuliţei) se va realiza cu un *sistem de recirculare externă* printr-un canal de trecere deschis practicat în peretele piuliţelor (figura 4.6). Această construcţie necesită realizarea diametrului exterior al piuliţei mai mare decât în cazul sistemului cu recirculare internă a bilelor folosind un deflector.

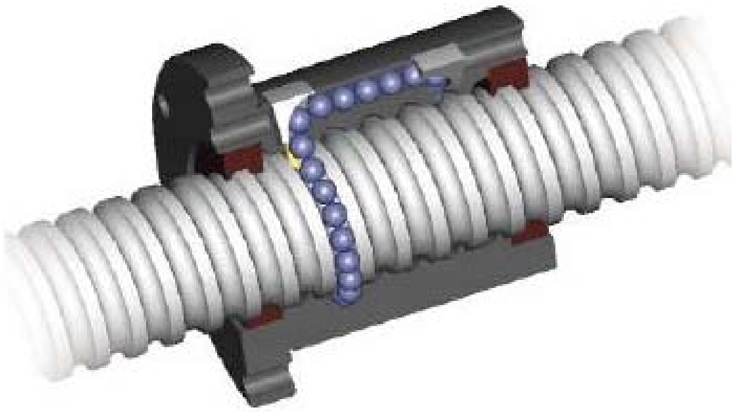


Fig. 4.6 *Realizarea recirculării bilelor la transmisiile şurub–piuliţă*

Numărul de circuite active într-o piuliţă variază uzual între ***2 ...6***, un circuit fiind definit ca traiectoria închisă descrisă de bilele care se rotesc în jurul arborelui filetat. Un exemplu de şurub cu bile cu trei circuite în piuliţa cu recirculare externă este arătat în figura 4.7.

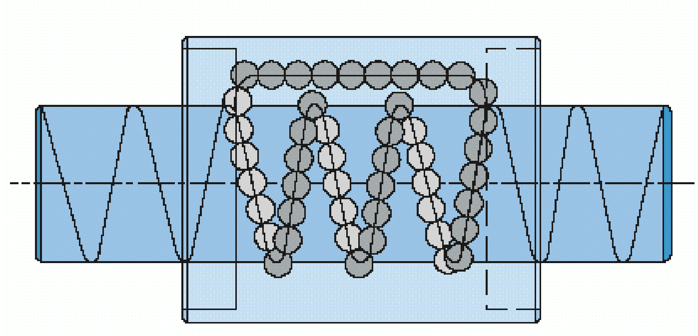
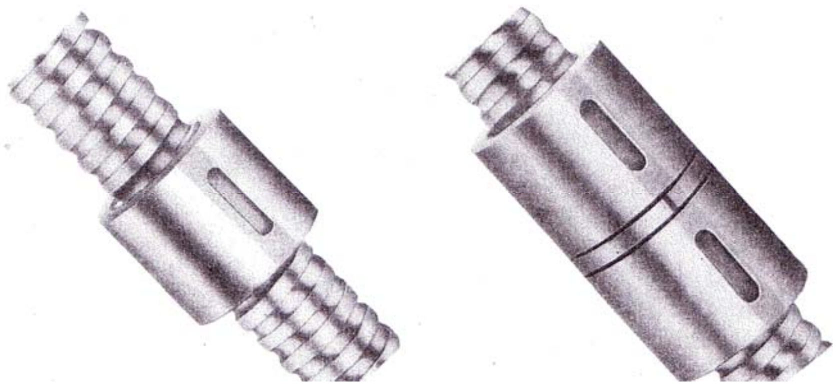


Fig. 4.7 *Şurub cu bile având trei circuite de recirculare*

4.6. Construcţia şi montarea piuliţei cu bile. Pretensionarea

Pentru realizarea sistemului de transmitere şurub-piuliţă cu elemente de rostogolire se utilizează două *variante constructive*:

- ***cu o singură piuliţă*** (figura 4.8 a) pentru creşterea randamentului la transmiterea mişcării;
- ***cu două piuliţe pretensionate*** (figura 4.8 b) pentru transmiterea unor mişcări de mare precizie şi rigiditate sporită în special pentru poziţionări precise.



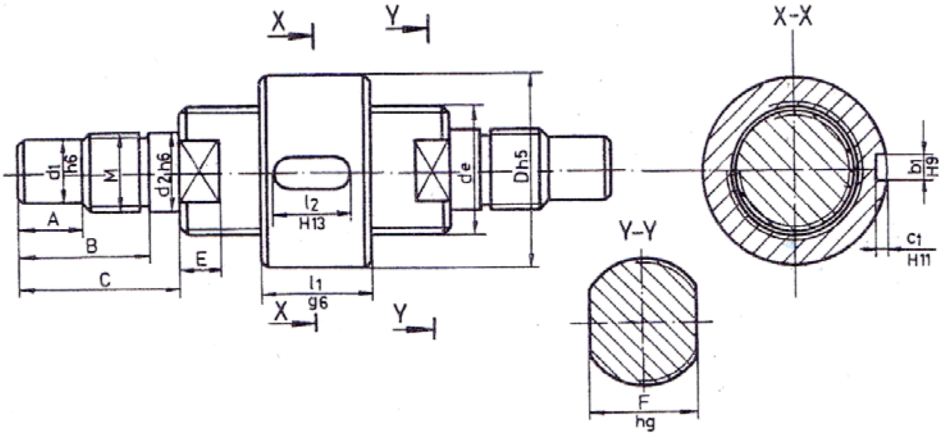
a) ***b)***

Fig. 4.8 *Variante constructive de șuruburi cu bile: a) cu o piuliță, b) cu două piuliţe*

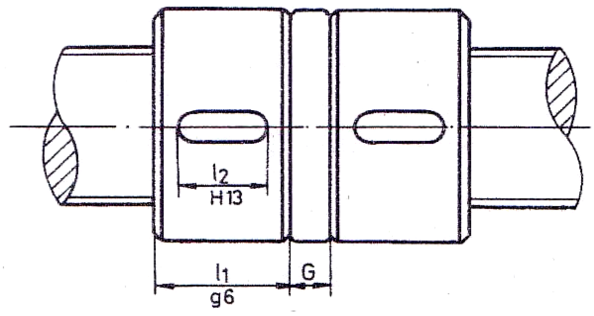
Caracteristicile constructive ale şuruburilor cu bile pentru cele două variante de utilizare a piuliţelor sunt reprezentate în figura 4.9 a şi b, iar dimensiunile standardizate corespunzătoare notaţiilor din figură sunt indicate în tabelele 4.3 (pentru piuliță), respectiv 4.4 (pentru șurub).

Uzual, ***sistemele de montaj a piuliţelor*** realizează fixarea direct în carcasă a elementului mobil, fără carcase intermediare fixate prin şuruburi, pene sau ştifturi care micşorează rigiditatea ansamblului. În raport cu spaţiul disponibil de montaj şi sistemul de piuliţe adoptat sunt posibile schemele de montaj din figura 4.10.

Pentru montajele cu piuliţă cu pană longitudinală sau transversală, utilizatorul va folosi datele constructive pentru montajul ştergătoarelor de protecţie împotriva pătrunderii prafului sau a impurităţilor în zona de rulare a bilelor (tabelele 4.3 şi 4.4).



a)



b)

Fig. 4.9 *Dimensiuni pentru şuruburi cu bile: a) cu o piuliţă, b) cu două piuliţe*

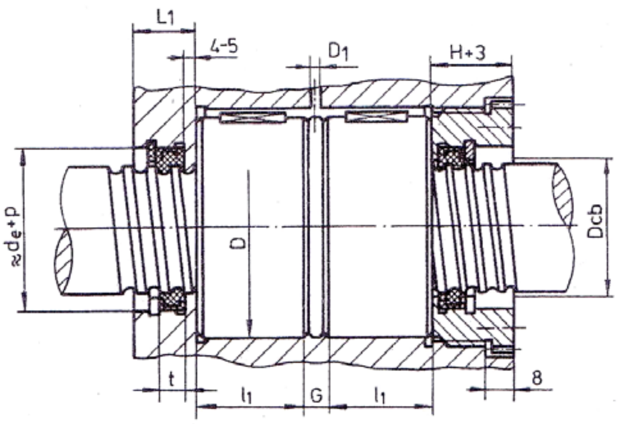


Fig. 4.10 *Montarea piuliţelor pe şurub cu bile*

Tabelul 4.3 *Dimensiuni ale piuliţei cu bile*

Diametrul D_{cb} (d_0)	Pasul p	Diametrul D	2 circuite		3 circuite		4 circuite		5 circuite		6 circuite	
			l_1	G	l_1	G	l_1	G	l_1	G	l_1	G
32	5	50	–	3	–	–	36	4,8	–	–	–	–
	10	50	45,5	4	55	8,34	66,5	4,5	77	6	92,5	7,85
40	5	60	–	3	–	–	36	4,8	–	–	–	–
	10	60	45,5	4	55	8,34	66,5	4,5	77	6	92,5	7,85
50	10	70	45,5	4	55	8,34	66,5	4,5	77	6	92,5	7,85
63	10	85	45,5	4	55	8,34	66,5	4,5	77	6	92,5	7,85
	12	90	50	4	65,5	10	80	9	95	6	111	–
	16	95	67,5	8	87,5	7,5	105	8	124	8,8	145,3	14,7
80	10	105	45,5	4	55	8,34	66,5	4,5	77	6	92,5	7,85
	12	108	50	4	65,5	10	80	9	95	6	111	–
	16	115	67,5	8	87,5	7,5	105	8	124	8,8	145,3	14,7
	20	125	85	10	110	10	123	7	154	5	175	–
100	10	126	45,5	4	55	8,34	66,5	4,5	77	6	92,5	7,85
	12	130	50	4	65,5	10	80	9	95	6	111	–
	16	135	67,5	8	87,5	7,5	105	8	124	8,8	145,3	14,7
	20	140	85	10	110	10	123	7	154	5	175	–
	24	142	100	12	132	12	160	12	165	9	215	–
	32	152	135	10	172,5	16	210	16	250	16	285	–

Datorită abaterilor de execuţie şi de montaj, în cuplele elicoidale cu rostogolire apar *jocuri axiale şi radiale*, determinate de uzarea elementelor constructive componente, care în timpul exploatării se măresc şi pot determina scăderea preciziei şi funcţionarea necorespunzătoare a transmisiei şurub-piuliţă cu bile. Din acest motiv, **STSPB** sunt în mod normal pretensionate în scopul eliminării jocului axial, creşterii rigidităţii globale a sistemului bilă-piuliţă şi pentru îmbunătăţirea preciziei de poziţionare. ***Pretensionarea*** trebuie făcută cu grijă, deoarece dacă este prea mare poate duce la o creştere a momentului condus al sistemului, care ar însemna o reducere a durabilităţii în funcţionare şi o creştere a temperaturii.

Pentru sistemul de transmitere prin cupla elicoidală cu rostogolire se va adopta varianta de pretensionare a celor două piuliţe prin utilizarea unui inel distanţier, reprezentată în figura 4.11.

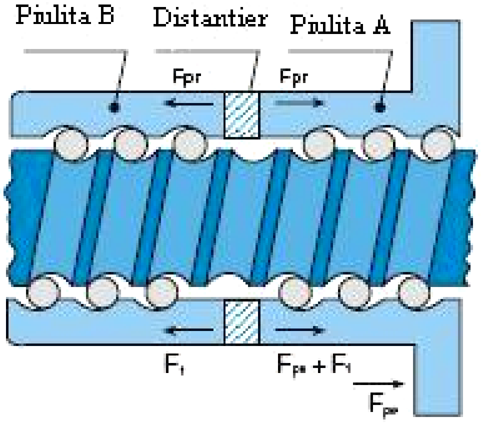


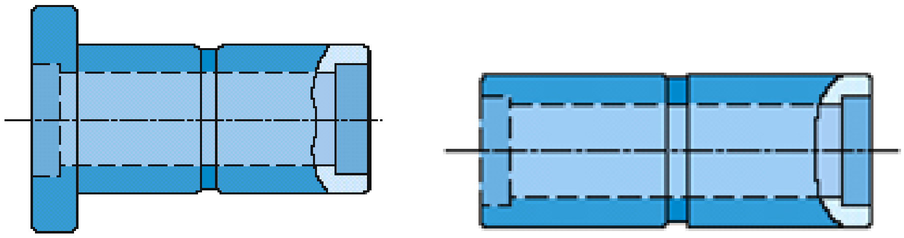
Fig. 4.11 *Realizarea pretensionării piulițelor*

Tabelul 4.4 *Dimensiuni ale şurubului cu bile*

Diametrul D_{cb} (d_0)	Pasul *p*	A	B	C	E	F	d_1	Filet M	d_2	b_1	c_1
32	5	35	–	–	–	–	25	–	–	6	2,5
	10	35	–	–	–	–	25	–	–	6	4
40	5	40	–	–	–	–	30	–	–	6	2,5
	10	40	–	–	–	–	30	–	–	8	3,5
50	10	40	–	–	–	–	30	–	–	10	3,5
63	10	40	–	–	–	–	30	–	–	10	3,5
	12	50	–	–	–	–	40	–	–	12	4,2
	16	50	–	–	–	–	40	–	–	10	3,5
80	10	35	65	75	20	65	42	45 x 2	45	14	5,2
	12	35	65	75	20	65	42	45 x 2	45	14	5,2
	16	35	65	75	20	65	42	45 x 2	45	14	5,2
	20	35	65	75	20	65	42	45 x 2	45	14	5,2
100	10	40	65	80	20	85	62	64 x 2	70	16	6,2
	12	40	65	80	20	85	62	64 x 2	70	16	6,2
	16	40	65	80	20	85	62	64 x 2	70	16	6,2
	20	40	65	80	20	85	62	64 x 2	70	16	6,2
	24	40	65	80	20	85	62	64 x 2	70	16	6,2
	32	40	65	80	20	85	62	64 x 2	70	16	6,2

Pretensionarea asigură doar anularea jocurilor axiale, valoarea forţei de preîncarcare a piuliţelor determinată cu relaţia (4.26) fiind mică faţă de sarcinile exterioare; practic pentru calculul piuliţei se ia in considerare sarcina exterioară F, fiecare piuliţă preluând sarcina unuia din sensurile de încărcare.

Construcţia piuliţelor se poate realiza în două variante: cu sau fără flanşă, ca în figura 4.12 a, respectiv b.



a) ***b)***

Fig. 4.12 *Tipuri constructive de piuliţe cu bile: a) cu flanşă, b) fără flanşă*

4.7. Calculul rezemării şurubului cu bile

Subansamblul de transmitere şi transformare a mişcării de rotaţie a şurubului cu bile, cu două piuliţe pretensionate, în mişcare de translaţie a piesei este reprezentat în figura 4.13, în care:

1 – şurub cu bile,
2 – rulment radial-axial cu bile pe două rânduri,
3 – distanţier,
4 – roată de curea dinţată,
5 – sistem de etanşare,
6 – piuliţe,
7 – inel reglare (pretensionare piuliţe du bile),
8 – suport (carcasă) piuliţe,
9 – rulment radial cu bile pe un rând,
10 – glisieră,
11 – ghidaj cilindric,
12 – carcasă,
13 – piesă.

Calculul rezemării sistemului de transmitere şurub-piuliţă cu bile urmăreşte stabilirea diametrelor fiecărui tronson din construcţia şurubului cu bile din condiţii de rezistenţă în funcţionare, pe baza diagramelor de momente de încovoiere echivalente, similar ca la arbori.

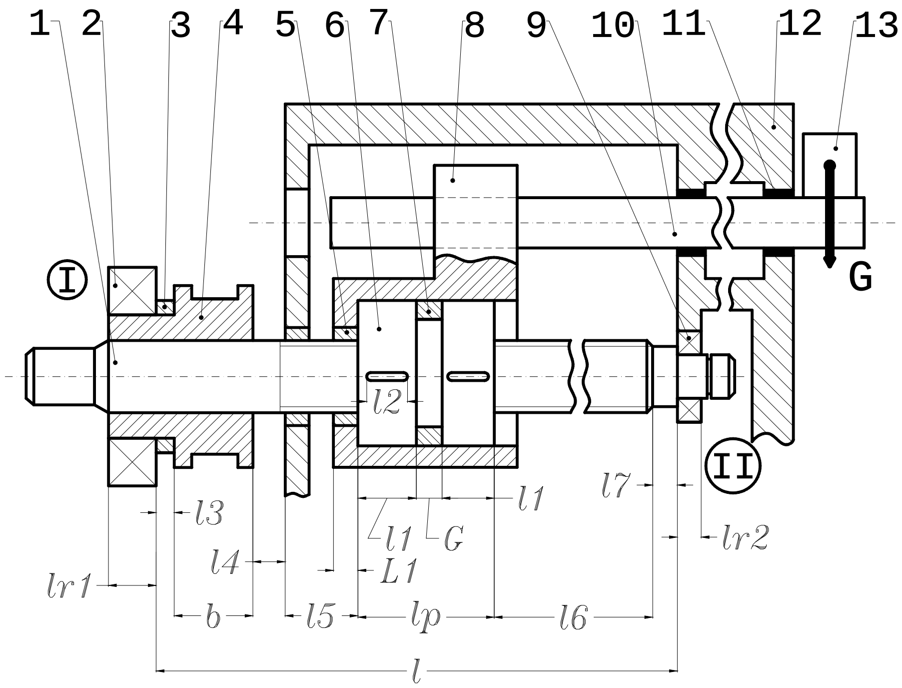


Fig. 4.13 *Schema de calcul pentru elementele geometrice*

Se parcurg următoarele *etape*:

1) *stabilirea lungimilor pentru tronsoanele şurubului cu bile,*
2) *realizarea schemei de încărcare,*
3) *determinarea reacţiunilor în reazeme,*
4) *trasarea diagramelor de momente care solicită șurubul,*
5) *alegerea formei constructive.*

care se vor rezolva succesiv.

1) Stabilirea lungimilor pentru tronsoanele şurubului cu bile

Cu notaţiile din figura 4.13 şi valorile din tabelul 4.2 referitoare la dimensiunile piuliţei cu bile se obţin lungimile stabilite cu relaţiile:

- *Pentru piuliţe*:

$$l1 = H_P \qquad \text{[mm]} \tag{4.31}$$

este lungimea unei piuliţei (calculată anterior);
D – diametrul exterior [mm];
G – grosimea inelului distanţier [mm];
$l2$ – lungimea canalului de pană;
b_1, c_1 – lăţimea şi adâncimea canalului de pană.

- *Pentru şurubul cu bile*:

$$l = K \cdot d \tag{4.32}$$

este lungimea totală, având valoarea coeficientului K indicat ca dată iniţială la proiectarea STSPB (§ 4.2.) şi diametrul şurubului d adoptat după calculul de rezistenţă la flambaj cu relaţia (4.9).

Lungimea totală până la lagăre rezultă ca sumă a tronsoanelor:

$$l = l3 + b + l4 + l5 + lp + l6 + l7 \tag{4.33}$$

din care:

$l3 =$ ***5...10*** mm (se adoptă constructiv);

b – lăţimea roţii de curea dinţată;

$$lp = 2 \cdot l1 + G \tag{4.34}$$

$l6 = l_c +$ (***10...20***) mm

Cu aceste valori rezultă suma celor trei tronsoane care nu sunt funcţionale $l4 + l5 + l7$ şi se vor stabili constructiv, adoptând valori convenabile pentru închiderea lanţului de dimensiuni a şurubului cu bile.

Observaţii:

Toate dimensiunile rezultă în mm.

Este posibil ca din calcul suma celor trei cote să rezulte prea mică sau negativă, ceea ce conduce la imposibilitatea adoptării unor lungimi adecvate pentru fiecare dintre tronsoanele de lungimi $l4, l5, l7$. În acest caz se va adopta o altă valoare pentru raportul lungime/diametru K faţă de cea indicată iniţial, cu reluarea calculului diametrului din condiţia de flambaj şi stabilirea noilor valori pentru fiecare tronson al şurubului.

- *Pentru lagărele cu rulmenţi*:

$$lr1 = d_p \tag{4.35}$$

$$lr2 = 0{,}7 \cdot d_p \tag{4.36}$$

în care: d_p reprezintă diametrul preliminar al axului filetat rezultat din condiţia de rezistenţă la torsiune cu relaţia:

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{SB_L}}{\pi \cdot \tau_{at}}} \quad \text{[mm]} \tag{4.37}$$

Momentul de transmis de şurub în cupla filetată cu rostogolire T_{SB_L} este cel calculat cu relaţia (4.23), iar tensiunea admisibilă de torsiune se alege în funcţie de materialul şurubului cu bile (la oţeluri τ_{at} = ***12 ... 35*** MPa).

2) Schema de încărcare

Se consideră două scheme de încărcare pentru ansamblul şurub-piuliţă cu bile, când greutatea totală este preluată la cele două capete ale cursei de lucru (piuliţele aflate complet în stânga, respectiv dreapta), cu reprezentarea din figura 4.14. Solicitarea exterioară este dată de forţa de întndere iniţială a curelei dinţate şi greutatea ansamblului considerată ca:

$$G_A = 1{,}1 \cdot G_p \quad \text{[N]} \tag{4.38}$$

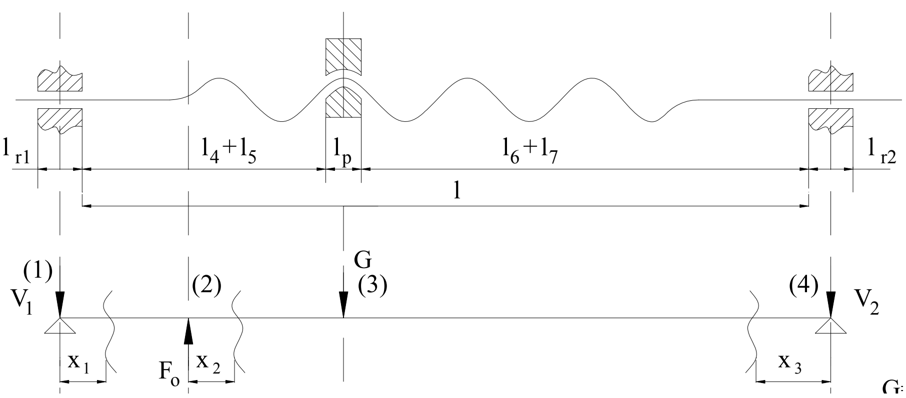


Fig. 4.14 *Schema de încărcare pentru subansamblul şurub–piuliţă cu bile*

3) Determinarea reacţiunilor în reazeme

Din condiţiile de echilibru de forţe tăietoare şi momente de încovoiere rezultă cele două reacţiuni V_1 şi V_2 din reazemele I , II.

$$\sum F = 0 \quad \Rightarrow \quad -V_1 + F_0 - G_A - V_2 = 0 \tag{4.39}$$

$$\sum M_{i(2)} = 0 \quad \Rightarrow \quad -V_1 \cdot (A + B + C) + F_0 \cdot (B + C) - G_A \cdot C = 0 \tag{4.40}$$

cotele A, B şi C rezultând pe baza notaţiilor din desen.

4) Trasarea diagramelor de momente

Pentru fiecare din cele două poziţii ale piuliţelor, se trasează diagramele de:

– *momente de încovoiere* M_i, pe baza ecuaţiilor scrise în toate secţiunile transversale x de-a lungul şurubului;
– *momente de torsiune* T_{SB} (momentul transmis de cupla elicoidală) considerat constant pe tronsonul între roata de curea şi piuliţe;
– *momentul de încovoiere echivalent* M_{iechj} pe fiecare tronson al şurubului cu bile calculat cu relaţia:

$$M_{iechj} = \sqrt{M_{ij}^2 + \alpha \cdot T_{SB}^2} \qquad \text{[N mm]} \tag{4.41}$$

în care: α – coeficient care depinde de modurile de variaţie ale solicitărilor de încovoiere şi torsiune, fiind dat de raportul:

$$\alpha = \frac{\sigma_{aiIII}}{\sigma_{aiII}} \tag{4.42}$$

cu valorile tensiunilor admisibile din catalogul de materiale**.**

5) Alegerea formei constructive

Construcţia şurubului cu bile va respecta reprezentarea schematică din figura 4.13.

6) Determinarea diametrelor tronsoanelor

Fiecare tronson j din construcţia şurubului cu bile are diametrul calculat pe baza diagramelor trasate anterior în cazul cel mai defavorabil (solicitare maximă) cu relaţia:

$$d_j = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{iech\max j}}{\pi \cdot \sigma_{aiIII}}} \qquad [\text{mm}] \qquad (4.43)$$

în care: σ_{aiIII} – tensiunea admisibilă de încovoiere pentru ciclu de solicitare alternant simetric se alege din cataloagele de materiale.

Dimensiunile calculate pentru diametrele specifice construcţiei şurubului cu bile se rotunjesc la valori superioare standardizate.

4.8. Alegerea rulmenţilor pentru susţinerea şurubului cu bile

Lagărele utilizate pentru rezemarea şurubului transmisiei elicoidale cu rostogolire au funcţia de a asigura, simultan, poziţia pe direcţie radială şi de a prelua forţa pe direcţie axială, cu menţinerea deformaţiei şi deplasării şurubului în limite admisibile.

Cerinţele principale ale lagărelor transmisiei şurub-piuliţă cu bile sunt: capacitate de încărcare axială ridicată, rigiditate mare, joc axial redus, frecare mică în rulmenţi, turaţii ridicate, comportare bună la vibraţii.

Aceste criterii individuale au importanţă diferită în funcţie de aplicaţia în care se utilizează transmisia şurub-piuliţă cu elemente de rostogolire (ex.: rigiditatea lagărelor are rol principal la maşinile în care se dezvoltă forţe mari; frecarea la lagărele pretensionate constituie criteriul principal pentru maşinile cu încărcare redusă şi care funcţionează la turaţii ridicate).

În cele mai multe aplicaţii, lagărele şurubului cu bile sunt realizate cu ***rulmenţi***, iar rezemarea se efectuează pe două lagăre cu una din *schemele de lăgăruire* diferite în funcţie de încărcare:

- *lagăr conducător – lagăr liber*: preluarea forţelor axiale se face de către un lagăr, în ambele sensuri, fiind recomandată pentru sarcini mici;

• *lăgăruirea cu reglarea jocului axial*: preluarea forţelor axiale se face de către fiecare lagăr în câte un sens (montaje în "X" sau în "O").

În proiectarea lagărelor pentru alegerea rulmenţilor se parcurg mai multe *etape*.

1) Stabilirea tipului de rulment

La rezemarea şurubului transmisiei elicoidale cu rostogolire se folosesc următoarele ***tipuri constructive de rulmenţi***:

– radial–axiali cu bile pe două rânduri pentru lagărul conducător;

– radiali cu bile pentru lagărul liber, ca în figura 4.15.

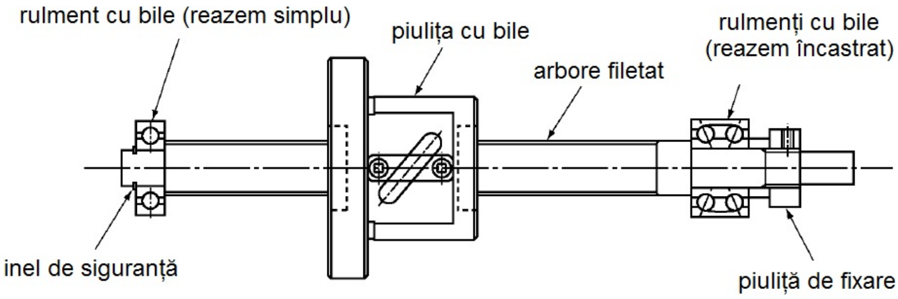


Fig. 4.15 *Şurub cu bile simplu rezemat- încastrat*

Construcţia unui *rulment radial–axial cu bile* şi modalităţile de montare pe arbore, respectiv în carcasă sunt prezentate în figura 4.16.

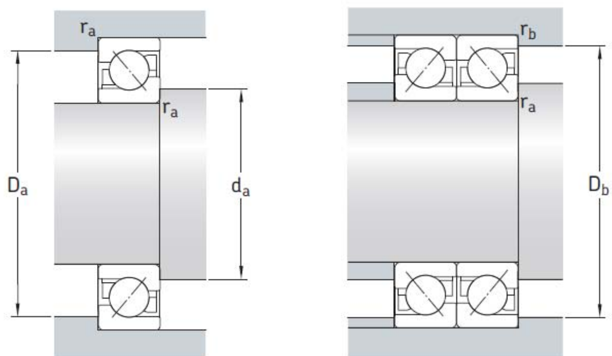
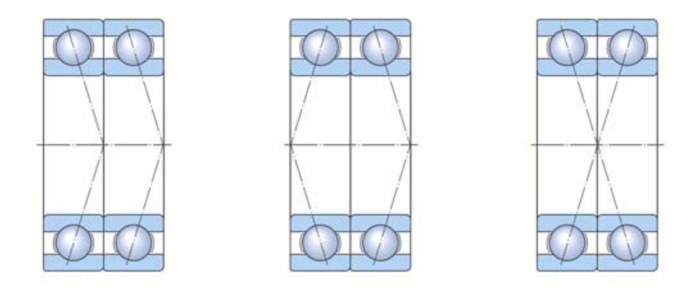


Fig. 4.16 *Rulment radial–axial cu bile:*
a) lagăr cu un singur rulment, b) lagăr cu doi rulmenţi

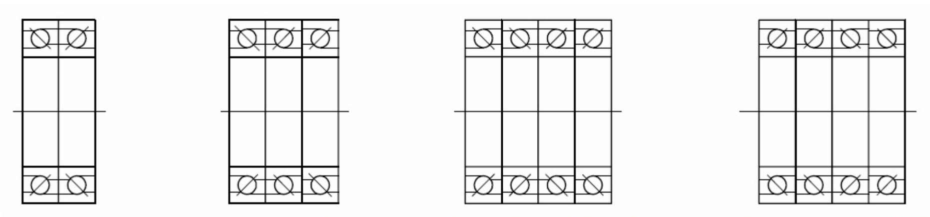
În figura 4.17 sunt prezentate trei variante clasice de montare a rulmenţilor radial–axial cu bile care formează unul dintre lagărele de susţinere.



a) ***b)*** ***c)***

Fig. 4.17 *Soluţii de aşezare a rulmenţilor radial–axial cu bile: a) montaj în tandem, b) montaj în O, c) montaj în X*

Pentru sarcini axiale mari de încărcare pentru fiecare lagăr de susținere a șuruburilor cu bile se utilizează mai mulți rulmenți obținând aranjamente din figura 4.18.

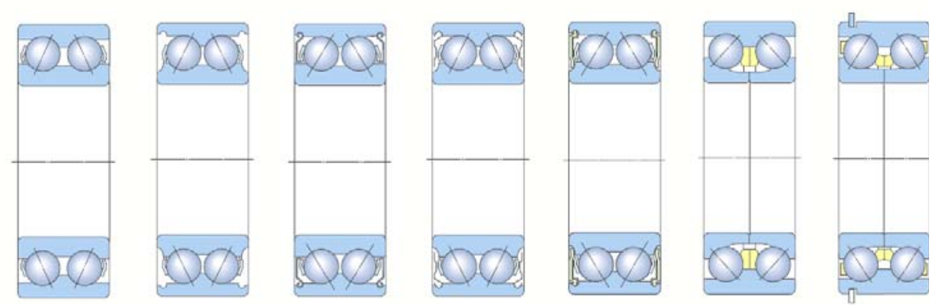


a) ***b)*** ***c)***

Fig. 4.18 *Tipuri de aranjamente ale rulmenților la șuruburi cu bile. a) duplex, b) triplex, c) cvadruplex*

Pentru *rulmenţii radial–axiali cu două rânduri de bile* există formele constructive standardizate reprezentate în figura 4.19, iar modul de fixare pe arbore şi în carcasă este indicat în figura 4.20.

Rulmenţii radial–axiali cu bile pe două rânduri sunt, constructiv, mult mai înguşti decât decât o pereche de rulmenţi radial–axiali cu bile pe un singur rând.



a) *b)* *c)* *d)* *e)* *f)* *g)*

Fig. 4.19 *Tipuri constructive de rulmenţi cu bile pe două rânduri:*

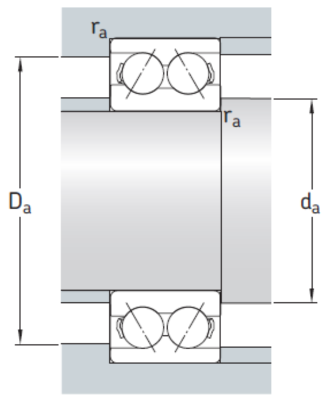


Fig. 4.20 *Fixarea rulmentului radial–axial cu bile pe două rânduri*

Geometria şi dimensiunile celor două categorii de rulmenţi utilizaţi pentru susţinerea şuruburilor cu bile sunt indicate în cataloagele firmelor producătoare (figura şi tabelele din ***ANEXA 7***).

2) Alegerea schemei de rezemare (lăgăruire)

Tipurile specifice de rezemare a șuruburilor cu bile sunt reprezentate în figura 4.21.

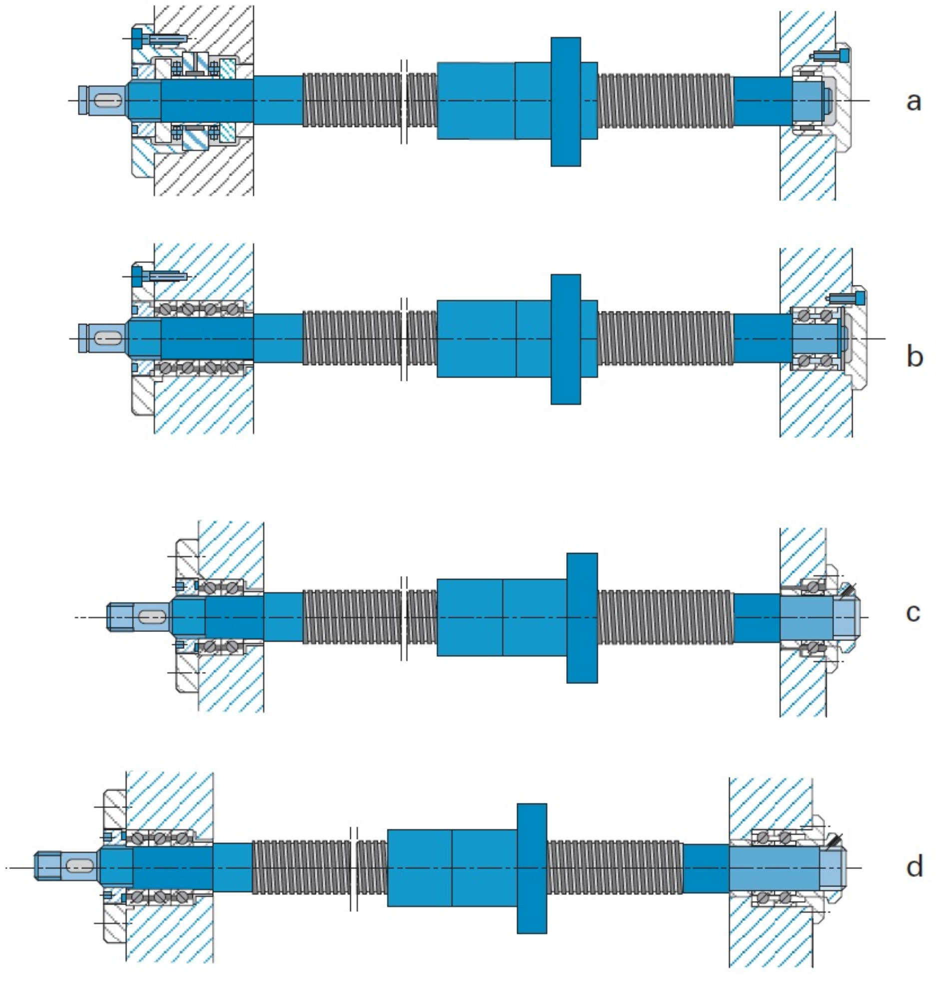


Fig. 4.21 *Tipuri de rezemare pentru șuruburile cu bile :*

3) Determinarea mărimii rulmenţilor

Alegerea dimensiunilor pentru rulmenţii din reazemele *I* şi *II* se face, separat, în funcţie de diametrul inelului interior (diametrul d_j al tronsonului de montaj pe şurubul cu bile – determinat anterior) şi capacitatea dinamică de bază definită de relaţia:

$$C_{1,2} = P_{e1,2} \cdot L_R^{1/3} \qquad \text{[N]} \qquad (4.44)$$

în care: P_e – sarcina dinamică echivalentă dată de relaţiile de catalog:

$$P_{e1} = X \cdot F_{r1} + Y \cdot F_{a1} \qquad \text{[N]} \qquad (4.45)$$

respectiv:

$$P_{e2} = X \cdot F_{r2} \qquad \text{[N]} \qquad (4.46)$$

L_R – durabilitatea rulmenţilor calculată cu relaţia:

$$L_R = \frac{60 \cdot n_{SB} \cdot D_h}{10^6} \qquad \text{[milioane rotaţii]} \qquad (4.47)$$

Forţele radiale care încarcă lagărele sunt:

$$F_{r1,2} = V_{1,2} \qquad \text{[N]} \qquad (4.48)$$

iar forţa axială preluată de lagărul *I* este:

$$F_{a1} = F \qquad \text{[N]} \qquad (4.49)$$

Din catalog se aleg rulmenţii cu diametrul inelului interior stabilit la dimensionarea axului filetat (conform § 4.7) şi capacitatea dinamică de bază $C \geq C_{1,2}$ (***ANEXA 7*** tabelul A7.1 pentru rulmenţi radial–axiali cu bile sau tabelul A7.2 pentru rulmentul cu bile pe două rânduri).

Valorile capacităţii dinamice de bază C din tabele sunt stabilite pentru lagăre cu un singur rulment.

Observaţii:

● Rulmentul *1* radial–axial cu bile pe două rânduri care formeză lagărul liber *I* se alege pentru un diametru interior mai mare astfel încât să se monteze pe suprafaţa exterioară a butucului roţii de curea dinţată (ca în figura 4.13).

● Când capacitatea dinamică calculată cu relaţia (4.44) este mai mare decât valoarea *C* din catalog, se impune utilizarea unui număr mai mare de rulmenţi identici dispuşi după una din schemele din figura 4.18. Pentru acest caz capacitatea dinamică de bază se determină astfel:

– rulmenţi montaţi spate–în–spate sau faţă–în–faţă: $C_{r_O_X} = 1{,}62 \cdot C$

– rulmenţi montaţi în tandem: $C_{r_\tan dem} = 2 \cdot C$.

4) Calculul sarcinii dinamice echivalente

Determinarea prin calcul a sarcinii P_e se efectuează cu relaţia (4.45) având coeficienţii X şi Y stabiliţi de catalog în funcţie de tipul rulmentului utilizat şi raportul dintre încărcarea axială şi radială.

La ***rulmenţii radial–axiali cu bile***:

- seriile *72 B* şi *73 B* ($\alpha = 40^0$), e = 1,14
  - *unul sau mai mulţi rulmenţi montaţi în tandem*:

    $X = 1$ $Y = 0$ pentru $F_a / F_r \leq 1{,}14$

    $X = 0{,}35$ $Y = 0{,}57$ pentru $F_a / F_r > 1{,}14$
  - *doi rulmenţi montaţi în O sau X*:

    $X = 1$ $Y = 0{,}55$ pentru $F_a / F_r \leq 1{,}14$

    $X = 0{,}57$ $Y = 0{,}93$ pentru $F_a / F_r > 1{,}14$

- seriile *70 C* şi *72 C* ($\alpha = 15^0$)
  - *unul sau mai mulţi rulmenţi montaţi în tandem*:

    $X = 1$ $Y = 0$ pentru $F_a / F_r \leq e$

    $X = 0{,}41$ $Y =$ catalog pentru $F_a / F_r > e$
  - *doi rulmenţi montaţi în O sau X*:

    $X = 1$ $Y =$ catalog pentru $F_a / F_r \leq e$

    $X = 0{,}72$ $Y =$ catalog pentru $F_a / F_r > e$

La ***rulmenţii radial–axiali cu bile pe două rânduri***:

- *seriile 32 şi 33* (unghiul de contact $\alpha = 32^0$):

  $X = 1$ $Y = 0{,}73$ pentru $F_a / F_r \leq 0{,}86$

  $X = 0{,}62$ $Y = 1{,}17$ pentru $F_a / F_r > 0{,}86$

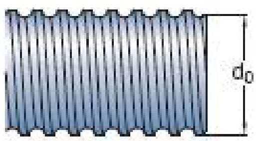
- *seria 32D* (unghiul de contact $\alpha = 45^0$):

  $X = 1$ $Y = 0{,}47$ pentru $F_a / F_r \leq 1{,}33$

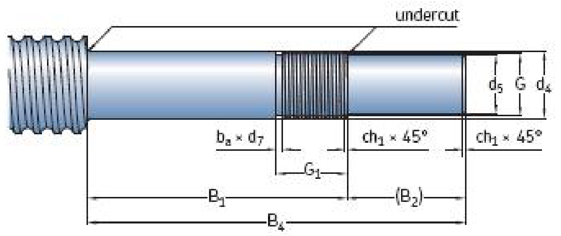
  $X = 0{,}54$ $Y = 0{,}81$ pentru $F_a / F_r > 1{,}33$

4.9. Construcţia şurubului şi piuliţei cu bile

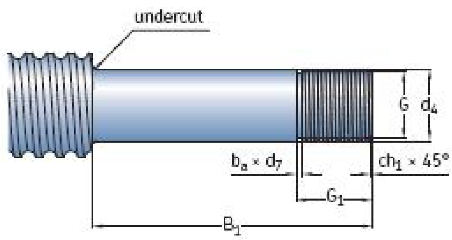
Construcţii ale capetelor de arbore pentru şuruburi cu bile sunt prezentate în figura 4.22, iar dimensiunile corespunzătoare mărimii filetului indicate în tabelele 4.5, respectiv 4.6.



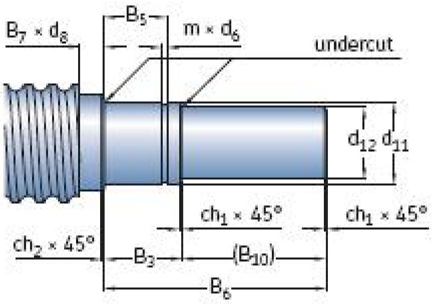
Tip 1A



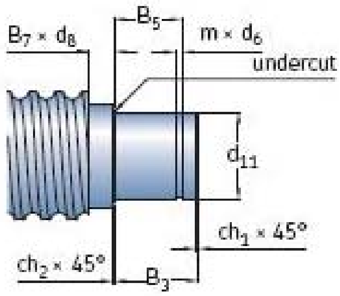
Tip 2A



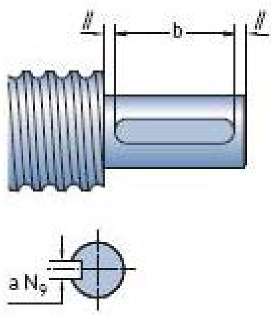
Tip 3A



Tip 5A



Tip 4A



Canal de pană

Fig. 4.22 *Tipuri construciive ale capete la şuruburile cu bile:*

Tabelul 4.5 *Dimensiuni capete de arbore pentru şuruburi cu bile*

Mărime d_0 –	d_5 h7	d_4 h6	d_{11} h6	d_{12} h7	B_1 js12	B_2	B_3 js12	B_4 js12	B_5 H11	B_6 js12	B_7	d_8
mm												
16	8	10	10	8	53	16	13	69	10	29	2	12,5
20	10	12	10	8	58	17	13	75	10	29	2	14,5
25[1)]	15	17	17	15	66	30	16	96	13	46	4,5	20
32[1)]	17	20	17	15	69	30	16	99	13	46	4,5	21,7
40[1)]	25	30	30	25	76	45	22	121	17,5	67	4,5	33,5
50[1)]	30	35	30	25	84	55	22	139	17,5	67	4,5	35,2
63	40	50	45	40	114	65	28	179	20,75	93	3	54

Tabel 4.6 *Dimensiuni capete de arbore pentru şuruburi cu bile*

Mărime d_0	G 6g	G_1	m +0,14 0	d_6 h11	h12	ch_1	ch_2	b_a	d_7 h11	Pană $a^{N9} \times l \times b$ capăt fix (tip 2A)	fixed end (tip 5A)
mm											
16	M10×0,75	17	1,1	9,6		0,5	0,5	1,2	8,8	A2×2×12	A2×2×12
20	M12×1	18	1,1	9,6		0,5	0,5	1,5	10,5	A3×3×12	A2×2×12
25	M17×1	22	1,1	16,2		0,5	0,5	1,5	15,5	A5×5×25	A5×5×25
32	M20×1	22	1,1	16,2		0,5	0,5	1,5	18,5	A5×5×25	A5×5×25
40	M30×1,5	25	1,6		28,6	1	0,5	2,3	27,8	A8×7×40	A8×7×40
50	M35×1,5	27	1,6		28,6	1	0,5	2,3	32,8	A8×7×45	A8×7×40
63	M50×1,5	32	1,85		42,5	1,5	1	2,3	47,8	A12×8×50	A12×8×50

Pentru asigurarea durabilităţii ridicate a şuruburilor cu bile, este esenţială ***protecţia*** acestora împotriva prafului şi impurităţilor, precum şi ai altor agenţi corozivi.

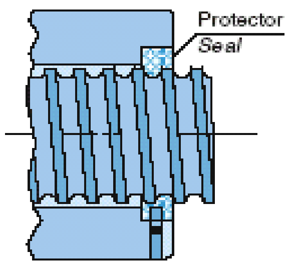


Fig. 4.23 ***Etanşare din PTFE***

De aceea firmele producătoare livrează şuruburile cu bile cu etanşări din PTFE (politetrafluoretilenă) care se montează pe profilul filetului şi se ataşează la capătul piuliţei ca în figura 4.23.

Deoarece această etanşare nu oferă etanşeitate totală (de exemplu în atmosferă corozivă), în acele aplicaţii care necesită protecţie completă este recomandată utilizarea acoperirii cu burdufuri sau telescopice.

Ungerea corectă a sistemului de transmitere şurub-piuliţă cu bile este mai importantă decât etanşarea şi poate fi realizată cu ulei sau unsoare. Lubrifierea previne ruginirea, protejează şurubul împotriva îmbătrânirii, limitează coeficientul de frecare şi reduce uzura întregului sistem. *Uleiurile* utilizate pentru lubrifierea rulmenţilor sunt adecvaţi şi pentru ungerea şuruburilor cu bile, vâscozitatea depinzând de turaţia de funcţionare, sarcina aplicată, temperatura de lucru, etc. Figura 4.24 permite stabilirea vâscozităţii necesare pentru o turaţie medie specificată, în rot/min, şi temperatura de funcţionare.

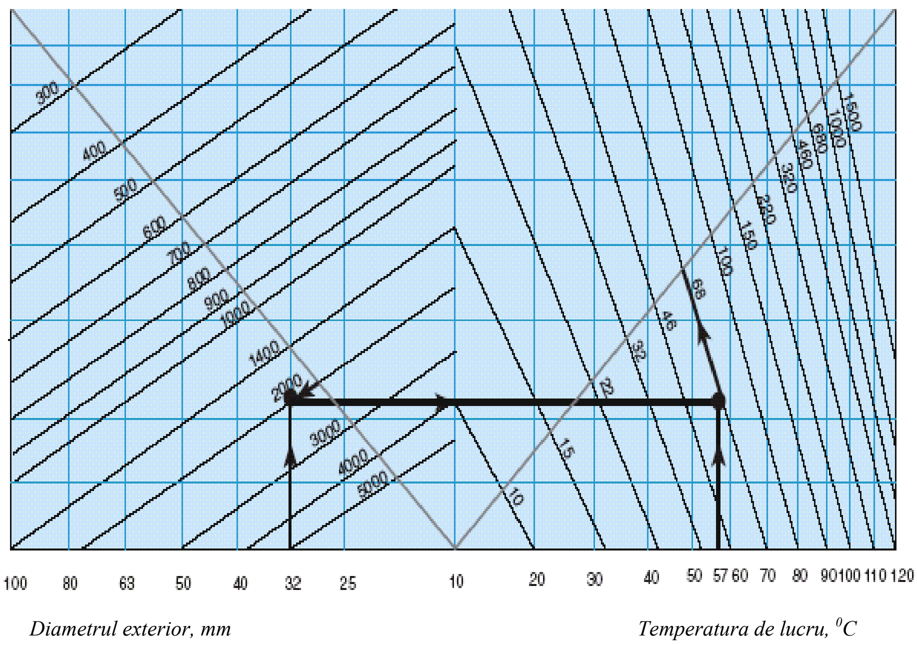


Fig. 4.24 *Alegerea vâscozităţii uleiului*

Avantajul ungerii cu *unsoare* faţă de cea cu ulei este că permite funcţionarea şurubului cu bile între 500 şi 1000 de ore fără lubrifiere, de aceea în multe aplicaţii nu este necesar sistem de ungere. Unsoarea nu trebuie să fie influenţată de prezenţa apei sau umezelii şi să fie rezistentă la particulele străine. De aceea se recomandă anumite consistenţe

standard ale unsorii utilizate pentru diverse condiţii de funcţionare (extremă la viteze ridicate, normale, viteze reduse şi sarcini mari).

Întrucât excesul de unsoare poate conduce la creşterea temperaturii cauzate de presiunile ridicate pe căile de rulare ale şurubului cu bile, acesta trebuie evitat.

Montarea şi demontarea piuliţei sunt operaţii critice realizate în ansamblul şurub–piuliţă cu bile. În timpul operaţiei de montare a piuliţei este necesară verificarea riguroasă a toleranţelor dimensionale conform cu condiţiile de încercare, în caz contrar are loc scăderea durabilităţii şurubului cu bile.

Nu este permisă *desfacerea piuliţei* de pe arborele filetat decât în cazuri absolut necesare urmând paşii sugeraţi de figura 4.25.

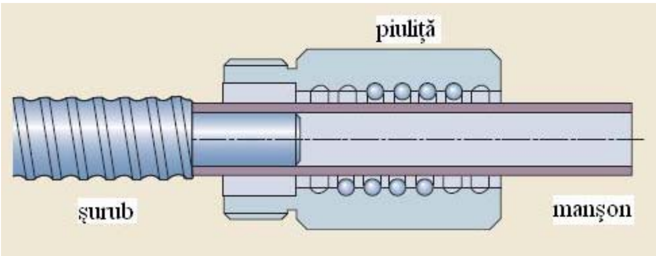


Fig. 4.25 *Demontarea piuliţei cu bile*

Mai întâi se prelucrează un tub cu lungime dublă faţă de lungimea piuliţei şi cu diametrul exterior puţin mai mic (aproximativ 0,3 mm) decât diametrul mediu d_0. Diametrul interior al tubului trebuie ajustat cu diametrul capătului de arbore (ca în figura 4.25). Apoi se roteşte piuliţa pe şurubul cu bile până când piuliţa este complet pe tub. În final se scoate tubul de pe arborele filetat, fiind siguri că piuliţa şi bilele rămân pe tub.

Asamblarea piuliţei pe şurub se efectuează în ordinea inversă.

Materiale pentru realizarea şuruburilor cu bile

Şuruburile cu bile sunt prelucrate din oţeluri speciale de îmbunătăţire. Uzual, porţiunea filetată a şurubului este tratată pentru o duritate adecvată a suprafeţei, în timp ce capetele arborelui rămân la duritatea iniţială a materialului de bază. Piuliţele şi bilele sunt de asemenea călite în totalitate. Principalele mărci de materiale pentru realizarea componentelor transmisiei şurub-piuliţă sunt indicate în tabelul 4.7.

Tabelul 4.7 *Materiale pentru prelucrarea şuruburilor cu bile*

Element	Material	Tratament	Duritate
Şurub	OLC55	Călire prin inducţie şi revenire	58 64 HRC
	42CrMo4		
	OLC60		
	X45CrMoV15		57 59 HRC
Piuliţă	17CrNiMo6	Cementare, călire şi revenire	58 62 HRC
	X46Cr13		58 60 HRC
	X155CrVMo121	Călire şi revenire în vid + nitrocarburare	68 70 HRC
Bile	100Cr6	Călire completă	60 66 HRC
	X105CrMo17		58 62 HRC
Sistem recirculare	CK45	Fără	–
	6CrNiMoTi17122		
	X46Cr13		
	PA6		

Construcţia şuruburilor cu bile se realizează în cinci *clase de precizie* conform standardelor ISO (1, 3, 5 pentru şuruburi de înaltă precizie, 7 şi 10 pentru precizie normală) şi suplimentar două trepte 0 şi 2 specificate în tabelul 4.8.

Tabelul 4.8 *Trepte de precizie pentru şuruburi cu bile*

Grade	0	1	2	3	4	5	6	7	10
ISO, DIN		6		12		23		52	210
JIS	3.5	5		8		18		50	210
HIWN	3.5	5	6	8	12	18	23	50	210

Abaterile de formă şi poziţie reciprocă pentru suprafeţele şurubului cu bile sunt reprezentate în figura 4.26, iar valorile acestora sunt indicate în cataloagele firmelor producătoare (tabelele 4.9 – 4.13).

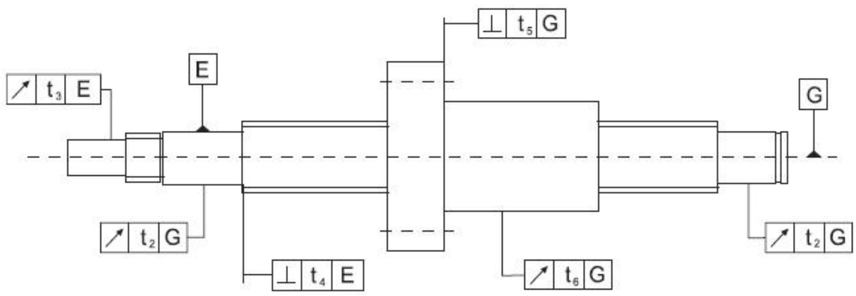


Fig. 4.26 *Reprezentarea grafică a şurubului cu bile*

Tabelul 4.9 *Toleranța la bătaia radială t_2*

Diam. nominal d_0 [mm]		Toleranța [μm] Treapta de precizie						
Peste	la	0	1	2	3	5	7	10
16	20	5	7	9	10	13	16	19
20	32	6	8	10	11	14	17	20
32	50	7	9	12	13	16	19	22
50	80	8	10	13	14	18	20	24

Tabelul 4.10 *Toleranța la bătaia radială t_3*

Diam. nominal d_0 [mm]		Toleranța [μm] Treapta de precizie						
Peste	la	0	1	2	3	5	7	10
16	20	4	6	8	9	12	15	18
20	32	5	7	9	10	13	16	19
32	50	6	8	11	12	15	18	21
50	80	7	9	12	13	17	20	23

Tabelul 4.11 *Toleranța la perpendicularitate t_4*

Diam. nominal d_0 [mm]		Toleranța [μm] Treapta de precizie						
Peste	la	0	1	2	3	5	7	10
16	20	2	3	3	4	5	7	9
20	32	2	3	4	4	5	7	9
32	50	2	3	4	4	5	7	9
50	80	3	4	5	5	7	10	13

Tabelul 4.12 *Toleranța la perpendicularitate t_5*

Diam. nominal d_0 [mm]		Toleranța [μm] Treapta de precizie						
Peste	la	0	1	2	3	5	7	10
16	20	7	8	9	10	12	15	18
20	32	7	8	9	10	12	15	18
32	50	8	9	10	10	13	16	19
50	80	9	10	11	12	15	18	21

Tabelul 4.13 *Toleranța la bătaia radială t_6*

Diam. nominal		Toleranța [µm]						
d_0 [mm]		Treapta de precizie						
Peste	la	0	1	2	3	5	7	10
16	20	5	6	7	8	10	13	16
20	32	5	6	7	8	10	13	16
32	50	6	7	8	8	11	14	17
50	80	7	8	9	10	13	16	19

Piulița cu bile de construcție standard (figura 4.27) are dimensiuni stabilite de firma producătoare, un exemplu fiind reprezentat în figura 4.28 şi tabelul 4.14.

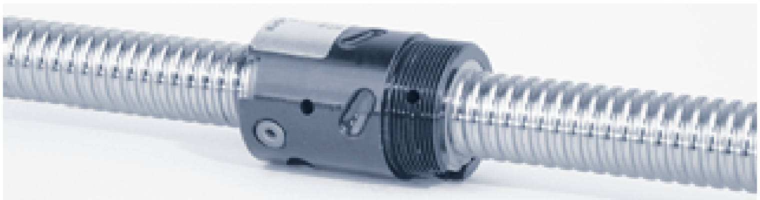


Fig. 4.27 *Construcția standard a piuliței cu bile*

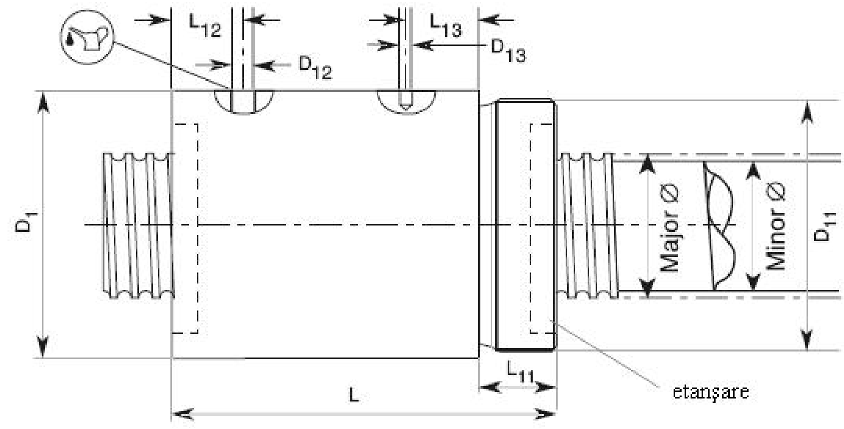


Fig. 4.28 *Dimensiuni pentru piulița cu bile*

Tabelul 4.14 *Dimensiuni pentru piulițe simple*

Nom. Diam.	Lead	Nut Type	Nut Dimensions [mm]										
d_0 [mm]	P_{ho} [mm]		D_1 h12	D_{11}	D_{12}	D_{13} ±0.1	L ±1	L_{11} -0.5	L_{12} ±2	L_{13} ±2	Masa piuliței [kg/m]	[lb/ft]	Diam. bile [mm]
12	4	ZG	25.5	M 20 x 1.0	3.2	–	34	10	12.0	–	0.1	0.22	1.984
12	5	ZG	25.5	M20 x 1.0	3.2	–	34	10	12.0	–	0.1	0.22	1.984
16	5	ZG	32	M 30 x 1.5	M 6 x 1	4	57.5	16.5	10.5	22.0	0.22	0.49	3.500
20	5	ZG	38	M 35 x 1.5	M 6 x 1	4	57.5	16.5	10.5	22.0	0.3	0.66	3.500
25	5	ZG	42	M 40 x 1.5	M 6 x 1	4	63.5	17	10.5	23.0	0.37	0.82	3.500
25	10	ZG	42	M 40 x 1.5	M 6 x 1	4	61	17	10.0	21.0	0.38	0.84	3.500
32	5	ZG	52	M 48 x 1.5	M 6 x 1	5	65.5	19	10.5	23.0	0.55	1.21	3.500
32	10	ZG	52	M 48 x 1.5	M 6 x 1	5	85	19	12.0	43.0	0.65	1.43	5.556
40	5	ZG	58	M 56 x 1.5	M 8 x 1	5	67.5	19	12.0	22.5	0.6	1.32	3.500
40	10	ZG	65	M 60 x 2.0	M 8 x 1	6	105.5	27	13.0	43.0	1.25	2.76	7.144
50	10	ZG	78	M 72 x 2.0	M 8 x 1	6	118	29	13.0	53.0	1.95	4.30	7.144
63	10	ZG	92	M 85 x 2.0	M 8 x 1	6	118	29	13.0	53.0	2.4	5.29	7.144
80	10	ZG	120	M 110 x 2.0	M 8 x 1	8	126	34	15.5	53.0	4.9	10.8	7.144